



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

---

**KATEDRA TEXTILNÍCH A JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ**

**2013**

**TRUONG CONG QUANG**

**Studijní program B2341- Strojírenství**

**Stavba strojů**

**Přípravek pro měření krouticího momentu**

**Torque gauging fixture**

**KTS – B069**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Konečný, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Jiří Komárek

**Rozsah práce a příloh:**

Počet stran : 39

Počet tabulek : 4

Počet obrázků: 29

Počet příloh: 9

Originální zadání práce

## **Anotace**

Cílem této bakalářské práce je navrhnout řešení přípravku pro měření krouticího momentu. Hlavní část práce spočívá v návrhu struktury přípravku v jeho kompaktní řešení, jednoduché konstrukci, jednoduché montáži a demontáži přípravku k měřenému přístroji. Práce se dále zabývá analýzou deformací a napětí v prostředí Creo 2.

## **Klíčová slova**

Snímač momentu, měření neelektrických veličin, pevnostní analýza

## **Annotation**

The aim of this thesis is to propose a solution for the measurement of torque. The main part of the work consists of the design of measurement device structures in the compact solution with simple structure, assemble and disassemble easily of the testing device. The thesis focuses on the analysis of deformation and stress in the 2.Creo environment.

## **Keywords**

Torque sensor, the measurement of non-electrical quantities, stress analysis.

## PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci ne poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

## DECLARATION

I have been notified of the fact that copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full in particular Section 60, School Work.

I note that the Technical University of Liberec does not interfere in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date:

Signature:

## PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především vedoucímu a konzultantu mé bakalářské práce

Ing. Martin Konečný, Ph.D. a Ing. Jiří Komárek, za jeho cenné rady

a neskonalou trpělivost, kterou se mnou při tvorbě práce měl.

Dále chci poděkovat své rodině za podporu při mých studiích.

Všem moc děkuji.

## Obsah:

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Princip měření krouticího momentu .....</b>	<b>11</b>
2.1 Základní principy.....	11
2.2 Snímače pro měření momentů .....	11
<b>3 Návrh přípravku pro měření krouticího momentu.....</b>	<b>16</b>
3.1 Požadavky na přípravek.....	16
3.2 Používané motory .....	16
3.2.1 Motor UNI FM 055-250U2B .....	16
3.2.2 Motor 80MPF3.250S000-01 .....	16
3.2.3 Motor AS69ADE – ASM69AE .....	17
3.3 Výběr vhodného snímače krouticího momentu .....	18
3.4 Schéma přípravku .....	20
3.5 Výběr vhodné spojky .....	21
<b>4 Konstrukční návrh rámu přípravku pro měření krouticího momentu .....</b>	<b>22</b>
4.1 Varianta 1 .....	22
4.2 Varianta 2.....	24
4.3 Varianta 3.....	25
4.4 Výběr typu nejlepší a nejvhodnější pro měření krouticího momentu .....	27
4.5 Konstrukční provedení vybrané varianty .....	27

<b>5 Možnosti provedení vybrané varianty .....</b>	<b>29</b>
5.1 Provedení 1 .....	29
5.2 Provedení 2 .....	29
5.3 Provedení 3 .....	30
5.4 Provedení 4 .....	31
<b>6 Pevnostní analýza rámu přípravku pro měření krouticího momentu .....</b>	<b>31</b>
6.1 Analytický provedení 1 a výsledek.....	32
6.2 Analytický provedení 2 a výsledek.....	32
6.3 Analytický provedení 3 a výsledek.....	33
6.4 Analytický provedení 4 a výsledek.....	33
6.5 Výběr nejlepšího provedení .....	34
<b>7 Závěr .....</b>	<b>35</b>
Seznam obrázků, tabulek .....	37
Seznam příloh .....	38
Seznam literatury .....	39



## Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Název	Jednotka
A	Délka snímače včetně hnací hřídele	[mm]
B	Délka snímače	[mm]
C	Délka hřídele	[mm]
D	Průměr hřídele	[mm]
E	Průměr snímače	[mm]
b	Délka klíče	[mm]
d	Klíčem ke konci hřídel	[mm]
H	Šířka klíče	[mm]
B1	Délka brzdy	[mm]
B2	Délka brzdy	[mm]
L	Délka	[mm]
M	Krouticí moment	[Nm]
G	Modul pružnosti ve smyku	$[Nm^{-2}]$
r	Poloměr tyče	[mm]
l	Vzdálenost mezi uvažovanými průřezy	[mm]
p	Počet pólových dvojic rotoru	[-]
f	Frekvence	[Hz]
$\alpha$	Úhel natočení	[°]
$\varphi$	Úhel fázového posunutí elektromotorických napětí	[°]
$\varphi_0$	Úhlová deformace hřídele	[°]
k	Konstanta	[-]
U1	Vstupní napětí	[V]
U2	Výstupní napětí	[V]

## 1 Úvod

Na katedře textilních a jednoúčelových strojů byl vyvinut nový model pro výrobu kvalitních produktů. Během výrobního procesu, musíme určit hodnotu krouticího momentu stroje. Krouticí moment je síla působící na rameno. Pro usnadnění měření krouticího momentu ve výrobním procesu, je třeba navrhnout přípravek, který slouží k uchycení snímače a motoru do jednoho bloku. Výběr vhodného snímače je důležitý pro přesné měření krouticího momentu motorů v provozu. Snímač je určen k zjištění točivého momentu motorů a přípravek musí být odolný vůči deformaci z důvodu, aby nedocházelo k ovlivnění samotného měření.

Je potřebné, aby přípravek zajistil spolehlivé měření. Přípravek musí také umožnit jeho snadnou montáž a demontáž k přístroji a snadné připojení motorů a snímače k přípravku. Konstrukční přípravky se používají k měření krouticí momentu ve výrobním procesu.

Chceme-li navrhnout vhodný přípravek, který splní výše uvedené požadavky, je potřebné navrhnout různé varianty a vybrat nejvhodnější model. Pro ověření správnosti vybrané varianty slouží pevnostní analýza. Na základě výsledků je vybrána nejlepší varianta.

## 2 Princip měření krouticího momentu [1]

### 2.1 Základní principy

Moment síly měříme stejně jako měření sil, opět deformací, kterou vyvolává. Moment síly namáhá měrný prvek kurtem nebo-li torzní. Namáháme-li kruhovou tyč krutem, zjistíme úhlové natočení dvou uvažovaných průřezů. Při podrobnějším rozboru dostaneme, že mezi úhlem natočení  $\alpha$  a momentem, který toto zkroucení vyvolal, platí vztah.

$$M = G \frac{\pi r^4}{4l} \alpha$$

Kde:  $G$  je modul pružnosti ve smyku,

$l$  vzdálenost mezi uvažovanými průřezy,

$r$  poloměr tyče,

$M$  krouticí moment.

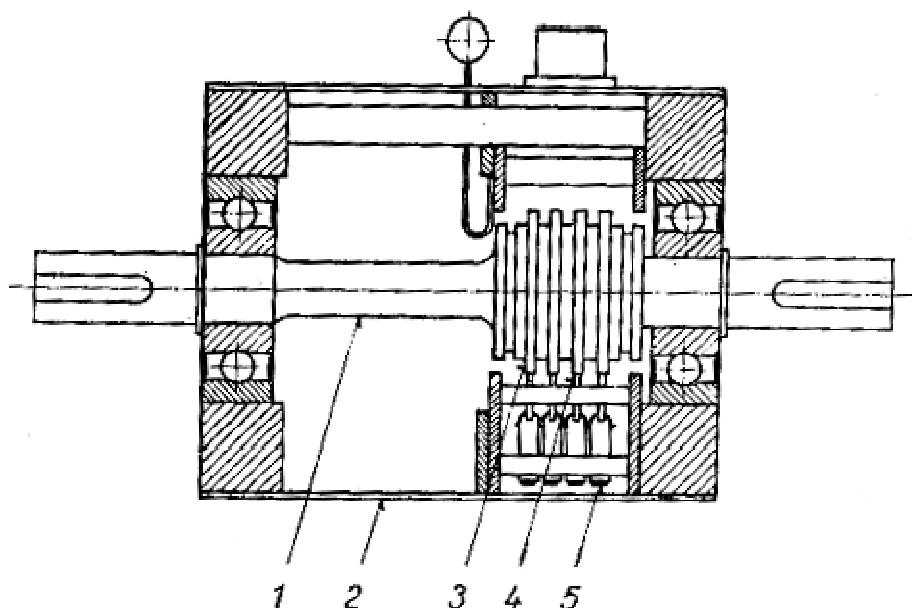
Pro danou torzní tyč bude v mezích pružných deformací platit

$$M = K \cdot \alpha$$

Kde:  $K$  je konstanta.

### 2.2 Snímače pro měření momentů

Používá se všech základních typů snímačů, vhodných pro měření malých úhlových posunutí. Jsou to např. indukční snímače s malou vzduchovou mezerou, snímače kapacitní, fotoelektrické, odporové, tenzometrické apod. Sériově se např. vyrábějí snímače, u nichž se zkroucení hřídele měří přímo tenzometrickými snímači odporovými, nalepenými na hřídel. Uspořádání snímače tohoto typu je znázorněno na obr.1. Základní část snímače tvoří hřídel, uložený v kuličkových ložiskách, který je v určité délce zeslaben. Na tomto úseku hřídele jsou pod úhlem  $45^\circ$  nalepeny odporové tenzometrické snímače. Na hřídeli jsou dále upevněny izolovaně sběrací kroužky, na které jsou vyvedeny napájecí a měřicí body úhlopříčky můstku.



Obr.1: Tenzometrický snímač momentu [1]:

1-snímací části hřídele, 2-kryt snímače, 3-sběrací kroužky,  
4-kartáče, 5-svorkovnice

Na část hřídele s menším průměrem jsou přilepeny celkem čtyři odporové tenzometrické snímače, které sledují deformaci hřídele, přičemž dva jsou namáhány tahem a dva tlakem. Snímač tohoto typu vyrábí např. fa Hottinger pro rozsahy od 10 Nm do 10000 Nm. Přesnost měření je 0,2 %, napájecí napětí můstku 4 až 6 V. Snímače jsou určeny pro rychlost 4000 ot/min, popř. 6000 ot/min podle velikost. Hmotnost snímače pro 10000 Nm je 37,5 kg,. Přípustná teplota snímače je 50 °C. Použití kontaktního sběracího ústrojí pro napájení a výstup snímače zvětšuje složitost snímače a zmenšuje jeho spolehlivost. Proto se v některých případech dělá přenos z otáčející se části bezkontaktně.

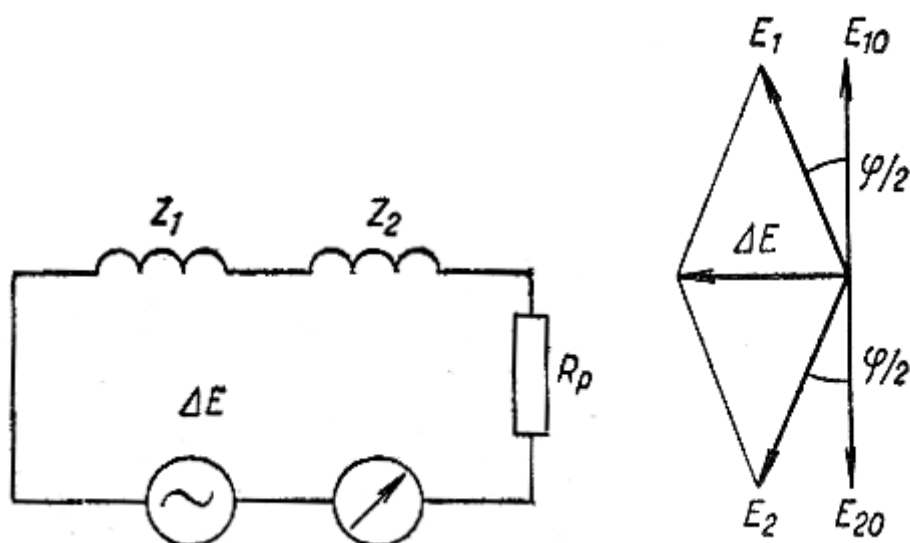
Některé indukční snímače jsou konstruovány tak, že přenos z otáčející se části je vyloučen. Snímač momentu tohoto typu je např. tvořen dvěma synchronními jednofázovými generátory, jejichž rotory jsou nasazeny na měřené hřídel ve dvou průřezech. Statory obou generátorů jsou zapojeny proti sobě. Nepůsobí-li moment, potom jsou elektromotorická napětí, která se v nich indukují, fázově posunuta o 180°.

Působí-li krouticí moment, potom se rotory snímače vzájemně natáčí a tím se fázově posouvají elektromotorická napětí obou statorů vzájemně o úhel

$$\varphi = \varphi_0 p$$

Kde  $\varphi_0$  je úhlová deformace hřídele,

P počet pólových dvojic rotoru.



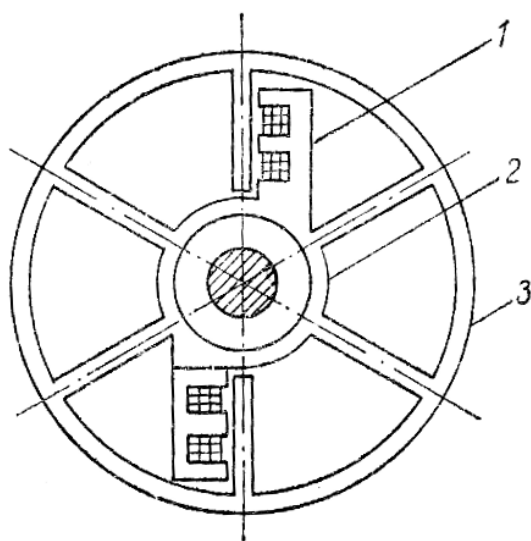
Obr.2: vektorový diagram indukčního snímače momentu [1]

Vektor diagram a náhradní schéma zapojení indukčního snímače kroucení je naznačeno na obr.2.

Snímač momentu lze realizovat indukčním snímačem posunutí běžné konstrukce. Příkladem je např. snímač momentu sovětské konstrukce typ PDK-4, u něhož je využito dvou snímačů posunutí PP-3. Rozsah měření je do 200 Nm popř. Do 50000 Nm.

Snímače jsou zapojeny do můstku  $U_1 = 40 \text{ V}$ ,  $f = 500 \text{ Hz}$ . Výstupní napětí s můstku  $U_2 = 0,4 \text{ V}$ . Nelinearita charakteristiky není větší než 5%. Celková chyba

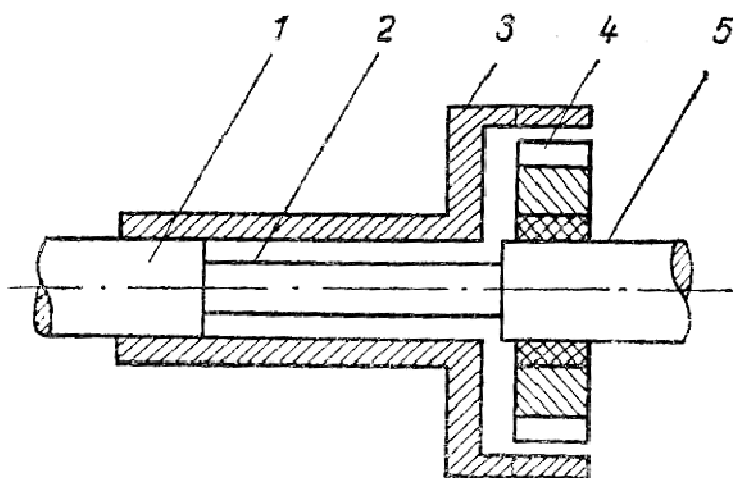
včetně zesilovače je  $\pm 2,5\%$  . Přípustný rozsah okolní teploty  $+ 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Uspořádání je na obr.3.



Obr.3: Snímač momentu s indukční snímači posunutí [1]:

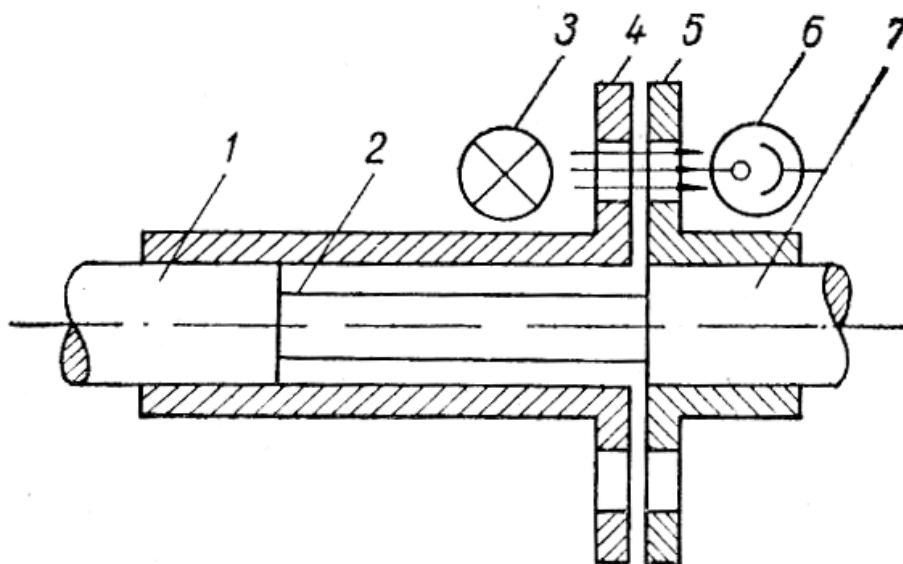
1-magnetický obvod indukčního snímače, 2-hřídel, 3-řemenice

Kapacitní snímač momentu: je naznačen na obr.4. Elektrodivý systém, který vytváří kondenzátor, je tvořen dvěma elektrodami zubového tvaru, uchycenými pevně v určité vzdálenost na hřídele izolována. Poměrná změna kapacity při zkroucení hřídele může být přenášena některým ze způsobů uvedených dříve.



Obr.4: Kapacitní snímač momentu [1]

Zajímavý je fotoelektrický snímač momentu. Princip snímače je naznačen na obr.5. Systém dvou clon, které jsou uchyceny v určité vzdálenosti na krouceném hřídeli, obsahuje otvory, jimiž prochází světelný tok z žárovky na fotoelektrický snímač.



Obr.5: Fotoelektrický snímač momentu [1]

Zkroucení hřídele se posunou vzájemně otvory obou clon. Při otáčení hřídele a změně kroucení hřídele bude se měnit délka světelných pulsů, a tedy i délka elektrických plusů na výstupu fotoelektrického snímače. Snímač tohoto typu sovětské konstrukce má rozsah 6 až 2800 Nm. Měřicí základna, tedy vzdálenost uchycení clon na hřídeli, je 180 až 400 mm. Charakteristika snímače je lineární. Základní chyba měření je  $\pm 4\%$ . Napájení žárovek je třeba stabilizovat.

Měření momentu elektrickými metodami je pro kontrolu strojních zařízení apod. Velmi vhodné, protože dává možnost dálkového měření i záznamu měřené hodnoty a umožňuje velkou přesnost. Uvedené principy, mimo další, se běžně používají.

### 3. Návrh přípravku pro měření krouticího momentu

#### 3.1 Požadavky na přípravek

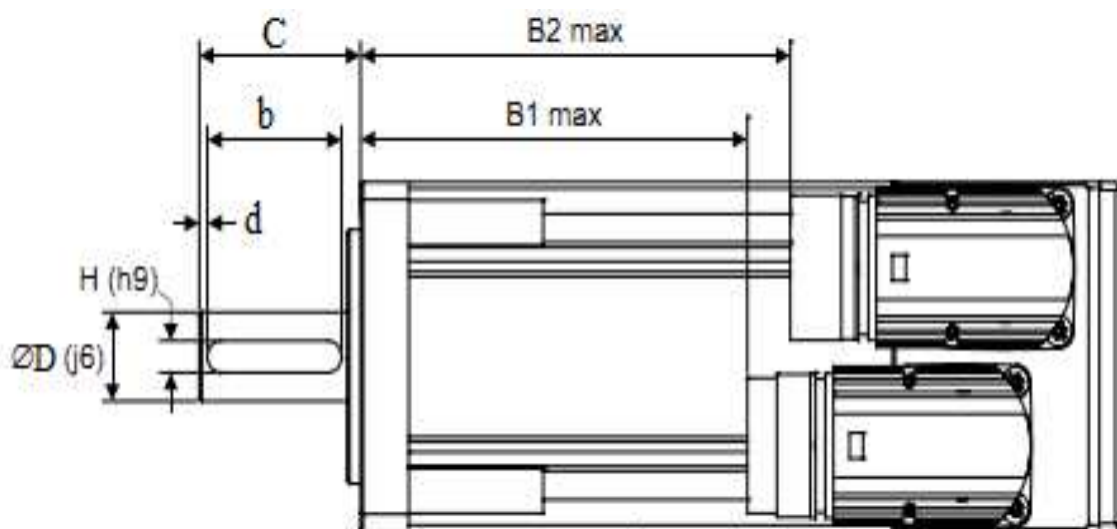
Jeden z hlavních požadavků na přípravek je kompaktní řešení. Jednoduchá konstrukce, jednoduchá montáž a demontáž přípravku k měřenému přístroji. Přípravek musí odpovídat možnost použít více druhů motorů (jmenovitě tedy jsou 3 motory v zadání) v určeném rozsahu velikostí a výkonu. Přípravek se musí co nejméně deformovat (tuhost), aby nezkresloval naměřené hodnoty. Jednotlivé části přípravku musí být snadno vyrobitelné. Montáž zařízení musí být poměrně jednoduchá.

#### 3.2 Používané motory

Ze zadání vyplývají 3 typy motorů, které se budou k přípravku připojovat.

##### 3.2.1 Motor UNI FM 055-250U2B

Motor 055B motor je střední velikosti, jeho hmotnost je 1,5 kg, maximální moment motoru je 2 Nm, délka 142 mm, průměr hřídele je 10 mm.

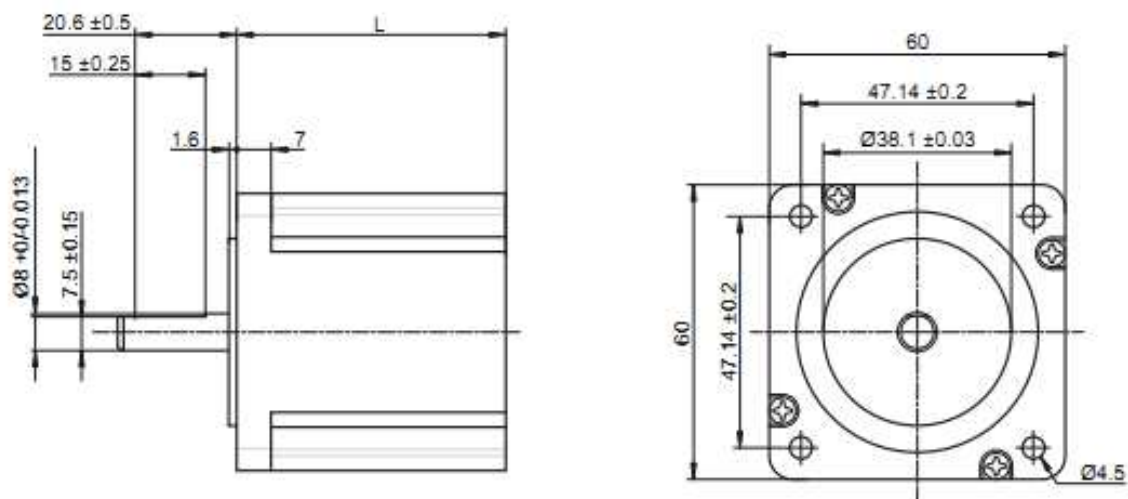


Obr.6: motor UNI FM 055-250U2B [2]

##### 3.2.2 Motor 80MPF3.250S000-01

Krokový motor 80MPF3.250S000-01 má velikost příruby 60 mm, hmotnost 1,4 kg, maximální moment motoru je 1,2 Nm, délka 62 mm, průměr hřídel je 8 mm.

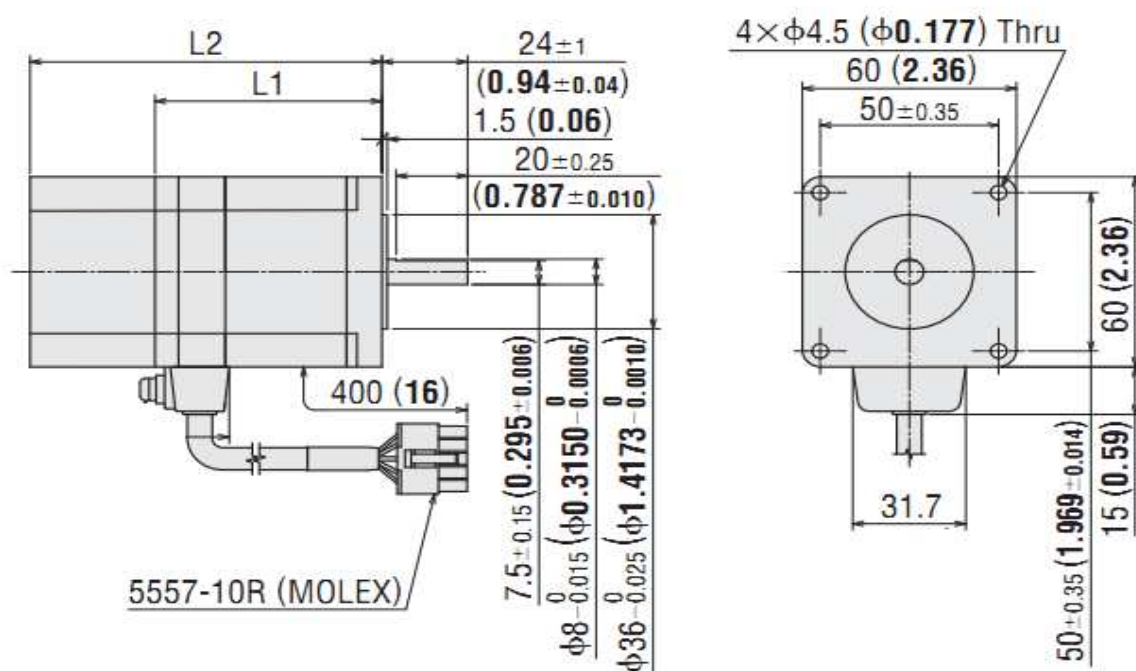




Obr.7: Krokový motor [3]

### 3.2.3 Motor AS69AE – ASM69AE

Motory AS69AE-ASM69AE má velikost příruby 60 mm, hmotnost 1,4 kg, maximální moment motoru je 1,2 Nm, délka 94,6 mm, průměr hřídel je 8 mm.



Obr.8: Motor AS69AE – ASM69AE [4]

### 3.3 Výběr vhodného snímače krouticího momentu

Pro měření krouticího momentu byl vybrán model snímače 8645 od výrobce Buster (obr.9).

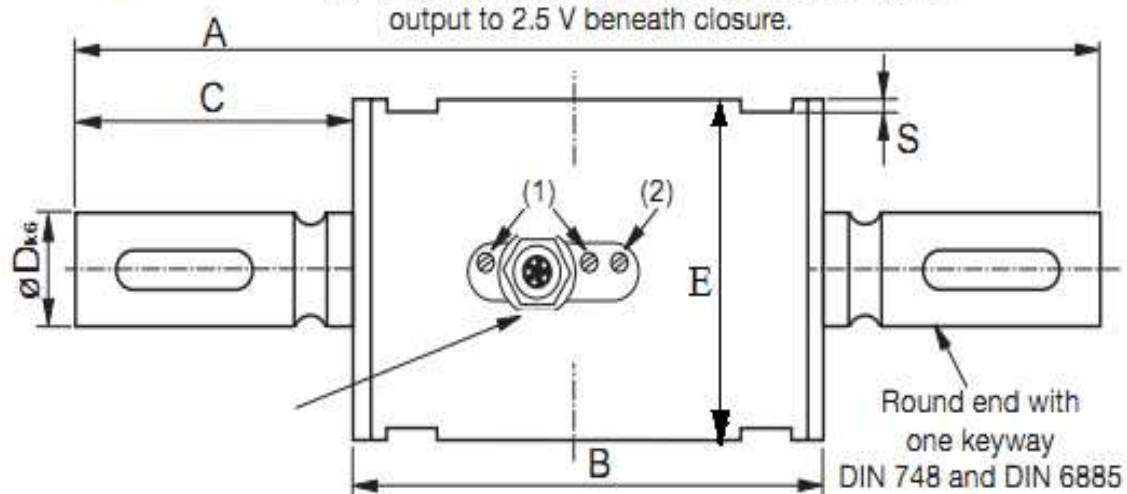


Obr. 9: Model snímače 8645 [5]

#### Model 8645

Round ends

- (1) Do not fasten/unfasten neither the mounting screw nor for connection nut.
- (2) Potentiometer for offset adjustment of signal output to 2.5 V beneath closure.



Obr. 10: Snímač 8645 [5]

+ Měřicí rozsahy  $0... \pm 2,5$  Nm až  $0... \pm 500$  Nm

+ Kombinovaná nejistota: 1% (2%)

+ Výstup snímače  $2,5$  V  $\pm 2$ V

+ Přetížitelnost 150 % z rozsahu

+ Náchylný na silné magnetické pole

Popis modelu snímače 8645:

Snímače krouticího momentu typu 8645 jsou určeny pro měření statického i dynamického krouticího momentu při libovolném směru otáčení. Příznivá cena snímačů otvírá širokou oblast aplikací, kde lze snímače nasadit. Patří ke standardnímu vybavení při kontrole kvality, ve výrobě, při montáži a také v laboratořích. Mezi typická použití patří kontrola momentových klíčů a šroubováků, měření tření v převodech a ložiscích, kontrola zařízení automobilového průmyslu (posuvná střecha, ovládání oken). Snímače lze zabudovat do vrtacích nebo šroubovacích zařízení, do textilních strojů apod.. Síla vyvolaná krouticím momentem je vyhodnocena prostřednictvím změn magnetického pole. Jedná se o nově patentovanou bezkontaktní technologii. Snímaný signál je interní elektronikou převeden na výstupní napětí je  $0,5$  až  $4,5$  V. Elektrické připojení je 5-ti dolovým konektorem. Součástí dodávky je kabel  $1,5$  m s připojeným konektorem [6].

Výběr správného snímače je velmi důležité pro přesné měření krouticího momentu. Snímač musí splňovat provozní požadavky motoru, aby měřil nejpřesnější výsledky. Maximální momenty vybraných motorů se pohybují v rozmezí  $1,2 - 2$  Nm. Podle tabulky vlastností typů snímačů, vybereme snímač krouticího momentu, jehož koeficient moment se pohybuje ve stejném řádu jako rozsah momentů motorů. Vhodný rozsah měřených hodnot nejlépe splňuje snímač 8645-5007.5.

Tabulka 1 obsahuje kompletní informace o rozsahu nabízených snímačů.

Tab.1: Tabulka informací o snímačích [5]

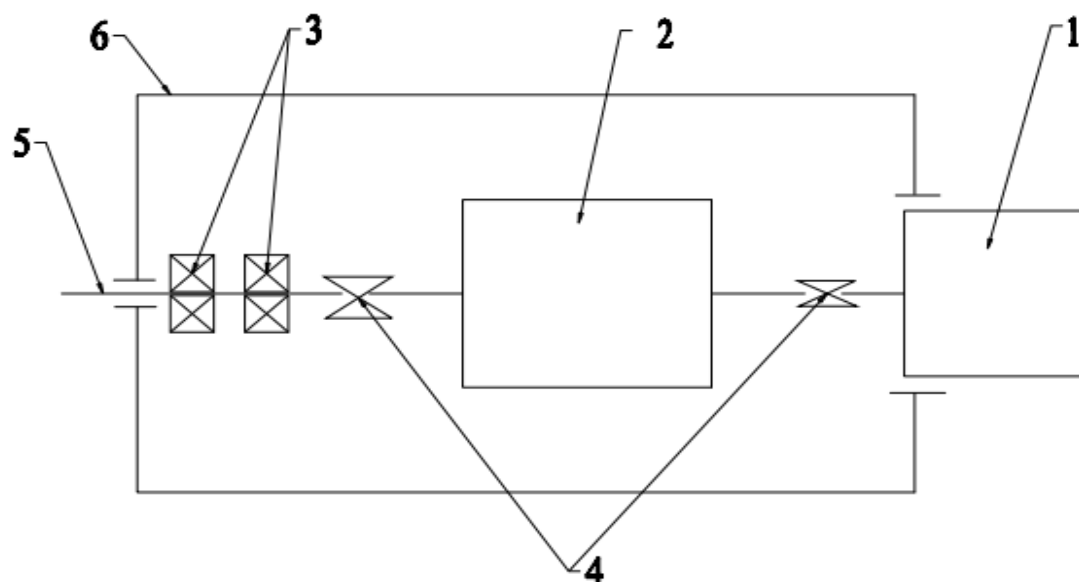
### Technical Data

#### Model 8645, round ends

Dim. tolerance acc. ISO 2768-f

Order Code	Measuring Range	Dimensions [mm]														Moment of Inertia [g cm <sup>2</sup> ]	Weight [g]
		A	B	C	ø D <sub>K8</sub>	E <sup>+0,3</sup>	F	G	H	K	L	M	N	P	S		
8645-5002.5	0 ... ± 2.5 Nm	125	70	27.5	9	40	-	8	5	-	23	43.9	15	37	1.5	4.86	400
8645-5005	0 ... ± 5 Nm	125	70	27.5	9	40	-	8	5	-	23	43.9	15	37	1.5	5.12	400
8645-5007.5	0 ... ± 7.5 Nm	125	70	27.5	9	40	-	8	5	-	23	43.9	15	37	1.5	5.53	400
8645-5017.5	0 ... ± 17.5 Nm	125	70	27.5	9	40	-	8	5	-	23	43.9	15	37	1.5	8.15	450
8645-5075	0 ... ± 75 Nm	139	70	34.5	14	50	-	8	5	-	30	43.9	18	47	1.5	46,4	700
8645-5175	0 ... ± 175 Nm	179	70	54.5	19	50	-	8	5	-	50	43.9	18	47	1.5	180	900
8645-5250	0 ... ± 250 Nm	179	70	54.5	19	50	-	8	5	-	50	43.9	18	47	1.5	188	1000
8645-5500	0 ... ± 500 Nm	220	87	66.6	25	60	-	10.5	2	-	-	61.4	19	57	1.5	984	1700

### 3.4 Schéma přípravku



Obr.11: Schéma s pozicemi přípravku

Tab.2: Popis prvků z obr.11

Popis prvků z obr.11	
1	Motor
2	Snímač
3	Ložiska
4	Spojky
5	Výstupní hřídel
6	Rám

Snímač momentu (2) musí být zařazen mezi motor (1) a zátěž. Zátěž bude připojována na výstupní hřídel (5), který bude součástí přípravku, a který bude mít vlastní uložení (3). Spojení mezi hřídelem motoru (1) a snímačem (2) dále snímačem (2) s výstupním hřídelem (5) bude zajištěno pružnou spojkou (4). Veškeré součásti přípravku budou uchycené na rám přípravku (6), který může mít různé podoby.

### 3.5 Výběr vhodné spojky

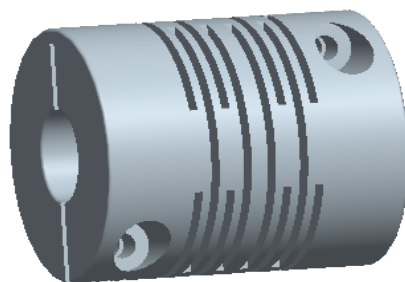
Pro náš přípravek byla zvolena válcová pružná spojka.

Tato spojka přenáší kroutící moment mírně nesouosých hřídelů, jelikož není možné zajistit přesnou montáž vstupního a výstupního hřídel.

Pružné spojky přenáší vysoké momenty při malých rozměrech a dovolují kompenzovat případné nesouososti. Maximální povolený moment je 140Nm. Použití spojek je vhodné zejména v aplikacích s definovanou axiální tuhostí a omezeným prostorem. Spojky ve standardním provedení jsou doporučovány pro aplikace, kde rychlosti nepřesahují 5000 ot/min. U spojek ve vyváženém provedení jsou povolené rychlosti až do 30000 ot/min [7].

Výhody:

- + Přesný převod
- + Jednoduchý tvar
- + Rychlé montáž a demontáž spojky

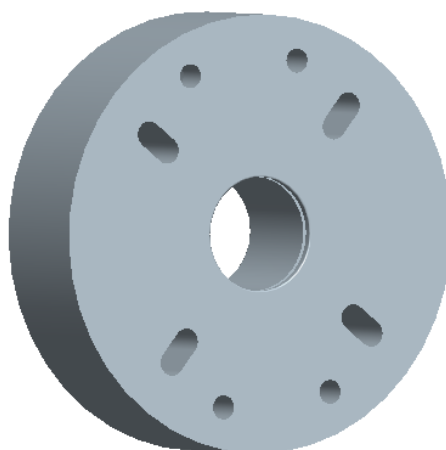


Obr. 12: Model pružné spojky

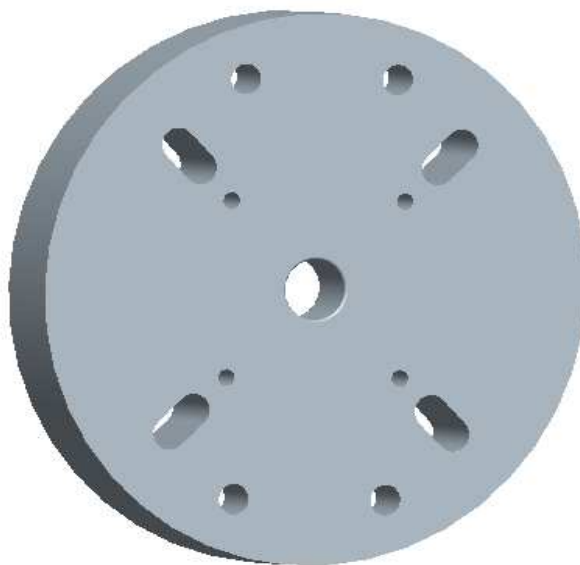
#### **4. Konstrukční návrh rámu přípravku pro měření krouticího momentu**

##### **4.1 Varianta 1**

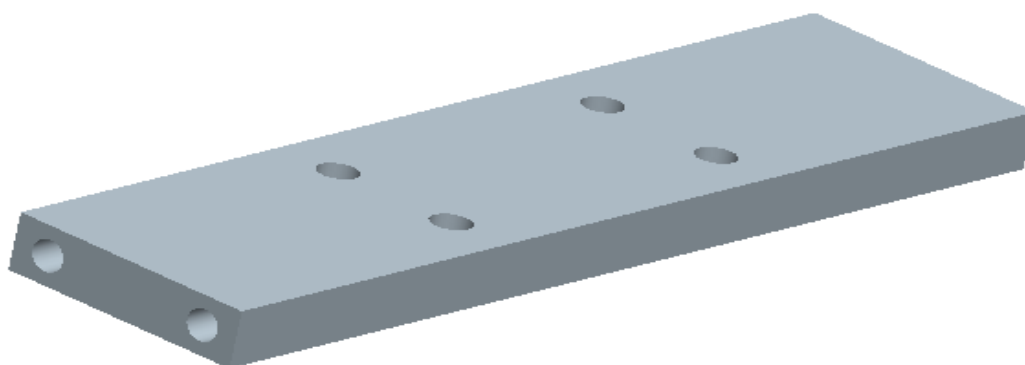
Varianta 1 se skládá z dvou přírub (obr. 13, obr. 14 ) a dvou bočnic (obr.15). Bočnice jsou spojené s přírubami pomocí šroubů. Každá bočnice má 4 otvory pro uchycení šroubů. Toto šroubové spojení zajistí to, aby byl přípravek jednotný. Snímač bude umístěn uprostřed přípravku a bude fixován k bočnicím pomocí osmi šroubů. Motor bude připojen k vnějšímu povrchu druhé příruby (obr.16). Motor a snímač budou propojeny pružnou spojkou.



Obr.13: Model příruba 1



Obr.14: Model příruba 2



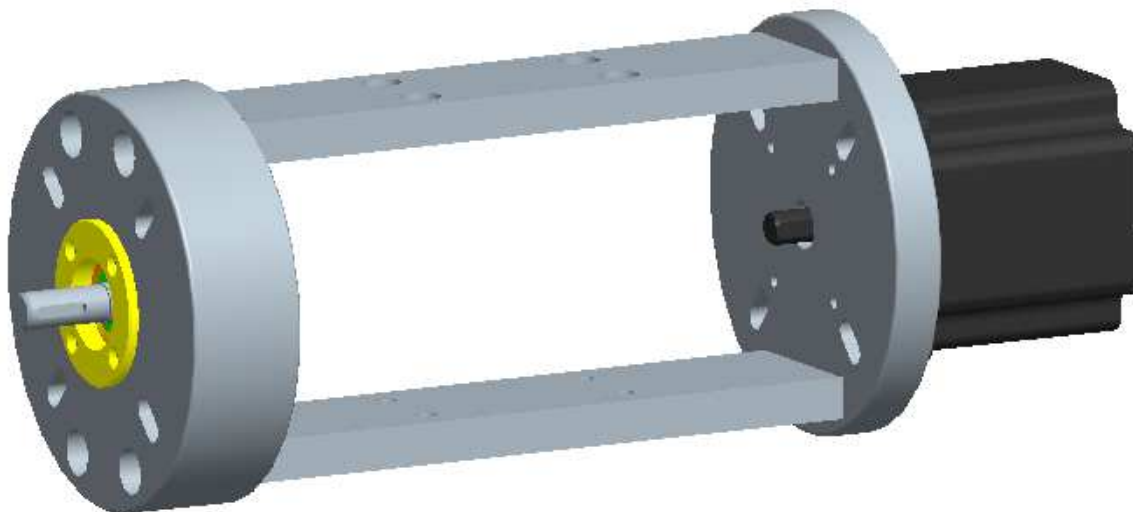
Obr.15: Model bočnice

Výhody:

- + Jednoduchá konstrukce
- + Výroba zařízení je poměrně jednoduchá, šetří materiál
- + Rychlá montáž a demontáž
- + Poměrně dobrá přesnost montáže
- + Je relativně stabilní během provozu

Nevýhody:

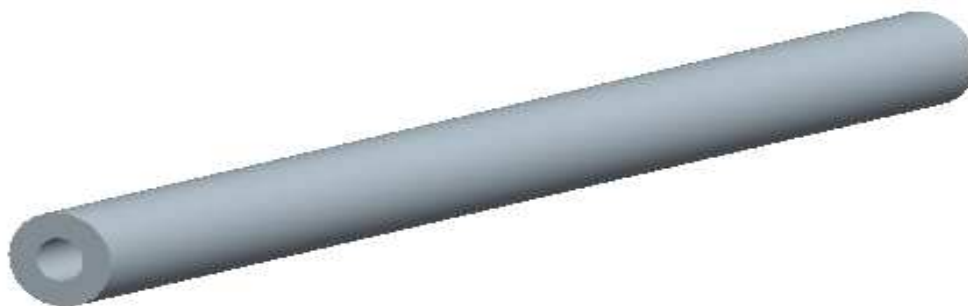
- Obtížnější zajištění souososti hřídelů



Obr. 16: 1. varianta přípravku

## 4.2 Varianta 2

Varianta 2 se skládá z dvou přírub ( obr. 13, obr. 14) a čtyř tyčí (obr. 17). Tyče jsou spojené s přírubami pomocí šroubů. Každá tyč má 2 otvory pro uchycení šroubů. Toto šroubové spojení zajistí to, aby byl přípravek jednotný. Snímač bude umístěn uprostřed přípravku a bude fixován k tyčím pomocí osmi šroubů. Motor bude připojen k vnějšímu povrchu druhé příruby (obr.18). Motor a snímač budou propojeny pružnou spojkou.



Obr.17: Model tyče

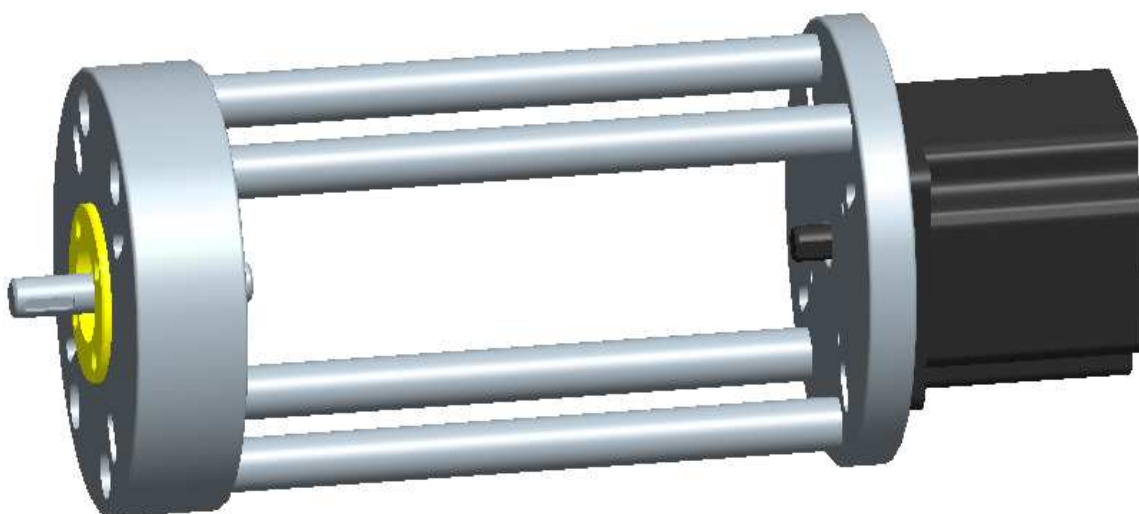


Výhody:

- + Jednoduchá konstrukce
- + Výroba tohoto zařízení je poměrně jednoduchá, šetří materiál
- + Rychlá montáž a demontáž

Nevýhody:

- Malá přesnost tvaru
- Nestabilní během provozu
- Malá tuhost, nepřesné měření
- Obtížnější zajištění souososti hřídelů

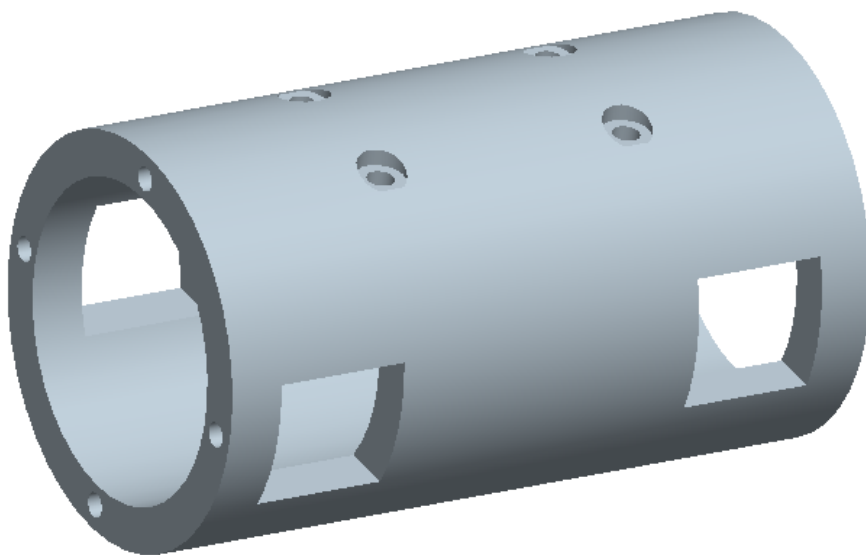


Obr. 18: 2. varianta přípravku

### 4.3 Varianta 3

Varianta 3 se skládá z dvou přírub (obr.13, obr.14) a jedné válcové trubky (obr.19). Válcová trubka je spojena s přírubami pomocí šroubů. Válcová trubka má 8 otvorů pro uchycení šroubů. Toto šroubové spojení zajistí to, aby byl přípravek

jednotný. Snímač bude umístěn uprostřed přípravku a bude fixován k válcové trubce pomocí osmi šroubů. Motor bude připojen k vnějšímu povrchu druhé příruby (obr.20). Motor a snímač budou propojeny pružnou spojkou.



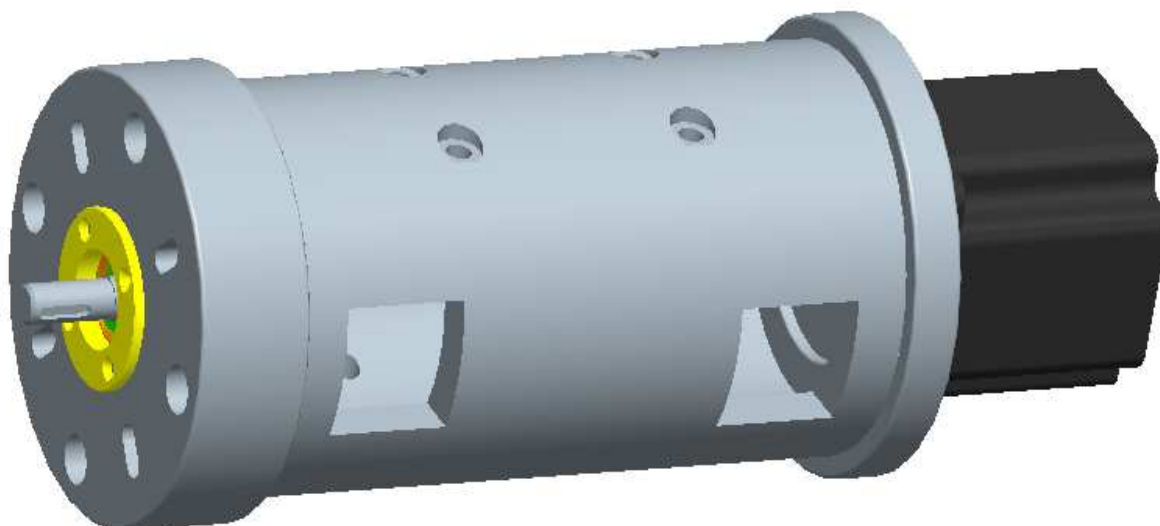
Obr.19: Model válcová trubka

#### Výhody:

- + Jednoduchá konstrukce
- + Výroba tohoto zařízení je poměrně jednoduchá
- + Relativně stabilní během provozu

#### Nevýhody:

- Nešetří materiály
- Obtížný přístup k montáži a demontáži snímače, to může způsobit nepřesnou montáž snímače, zkreslení měřených výsledků
- Obtížnější zajištění souososti hřídelů



Obr.20: 3. Varianta přípravku

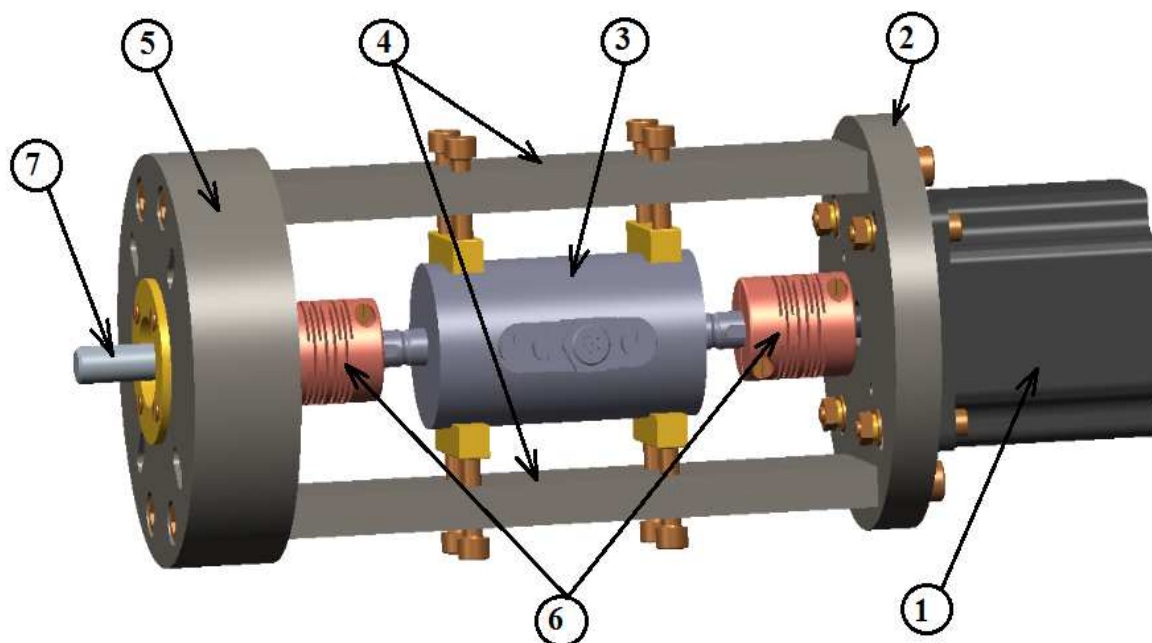
#### 4.4 Výběr typu nejlepší a nejvhodnější varianty pro měření krouticího momentu

Na základě analýzy složení a struktury 3 uvedených variant přípravků pro měření krouticího momentu, byl vybrán jeden model, který je nejlepší pro měření krouticího momentu. Varianta 2 nemá dostatečnou pevnost během provozu, tyče můžou být deformovaný, poškozené nebo zlomené během procesu, a proto varianta 2 je nevhodná vzhledem k požadavkům na přípravek pro měření krouticího momentu. Varianta 3 má velmi vysokou pevnost při provozu, ale naopak lze velmi obtížně montovat a demontovat, což je velmi časově náročné. Obtížná montáž může vést k nepřesné instalaci snímače a může ovlivňovat přesnost naměřených hodnot krouticího momentu, takže varianta 3 nebude nejlepší varianta pro náš výběr. Součásti varianta 1 jsou jednoduché, snadno vyrobitelné. Přípravek zajišťuje jednoduchou a rychlou montáž a demontáž. Předpokládáme u něho relativní stabilitu během provozu a dostačující přesnost montáže s možností doladění správné polohy snímače. Z těchto důvodů jsem vybral varianta 1 pro návrh přípravku.

#### 4.5 Konstrukční provedení vybrané varianty

Vybraná varianta má tuto podobu. Snímač momentu (3) je zařazen mezi motor (1) a zátěž. Zátěž bude připojována na výstupní hřídel (7), který je uložen v přírubě 1 (5). Uložení je realizované dvěma kuličkovými ložisky. Spojení hřídele motoru (1)

se snímačem (3) a snímačem (3) s výstupním hřídelem (7) je zajištěno pružnými spojkami (6). Příruby (2) (5) a bočnice (4) tvoří nosný rám, na kterém jsou uchycené ostatní součásti tak, aby tvořili jednotný blok, který je zobrazený na obr.21.



Obr.21: Konstrukce simulace přípravků

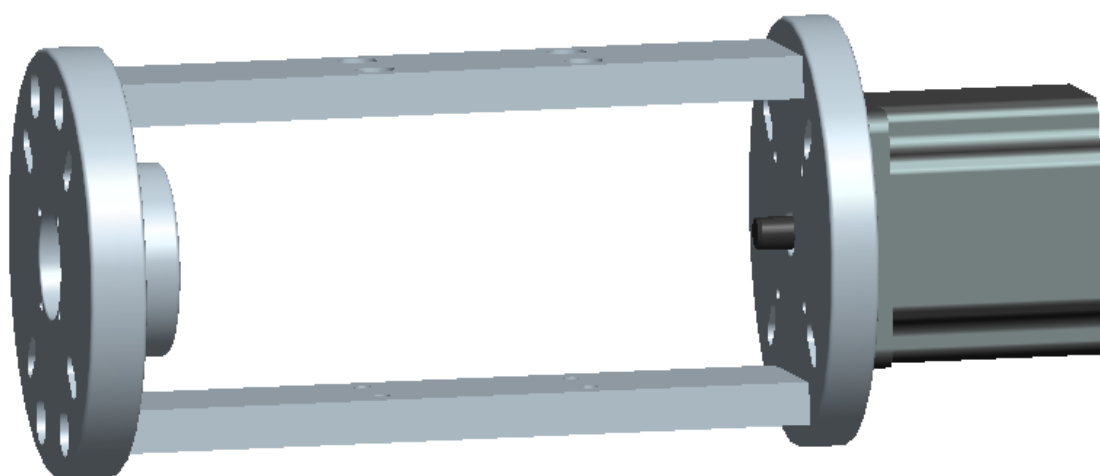
Tab.3: Popis prvků z obr.21

Popis prvků z obr.21	
1	Motor
2	Příruba 1
3	Snímač
4	Bočnice
5	Příruba 2
6	Válcová spojka
7	Výstupní hřídel

## 5. Možnosti provedení vybrané varianty

### 5.1 Provedení 1

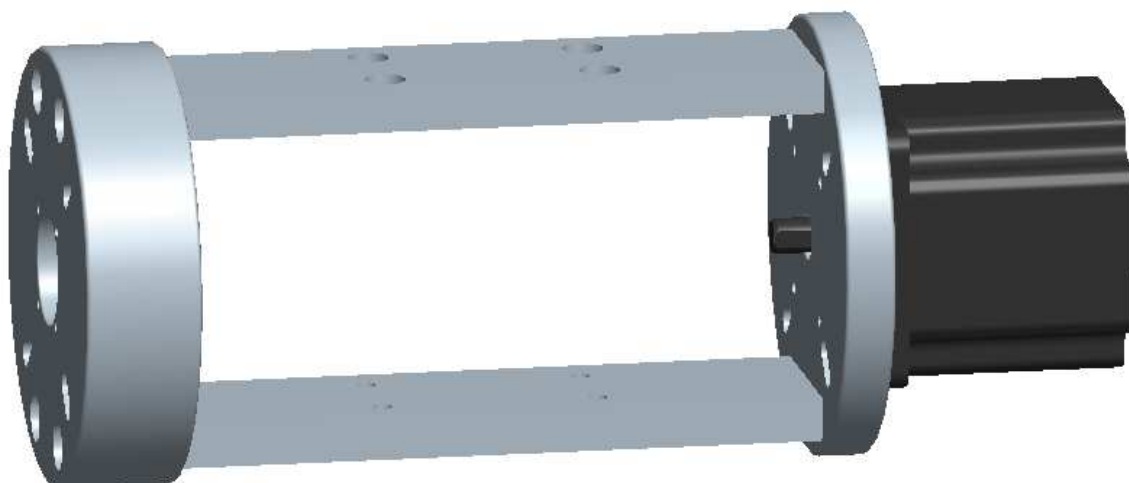
Bočnice jsou spojené s přírubami pomocí osmi šroubů. Styková plocha mezi bočnicemi a přírubami je na čele přírub. Šrouby jsou orientované podélně k bočnicím. Příruby mají otvor pro šrouby a bočnice mají závity. Příruba 1 má osazení na menší průměr.



Obr.22: Provedení 1

### 5.2 Provedení 2

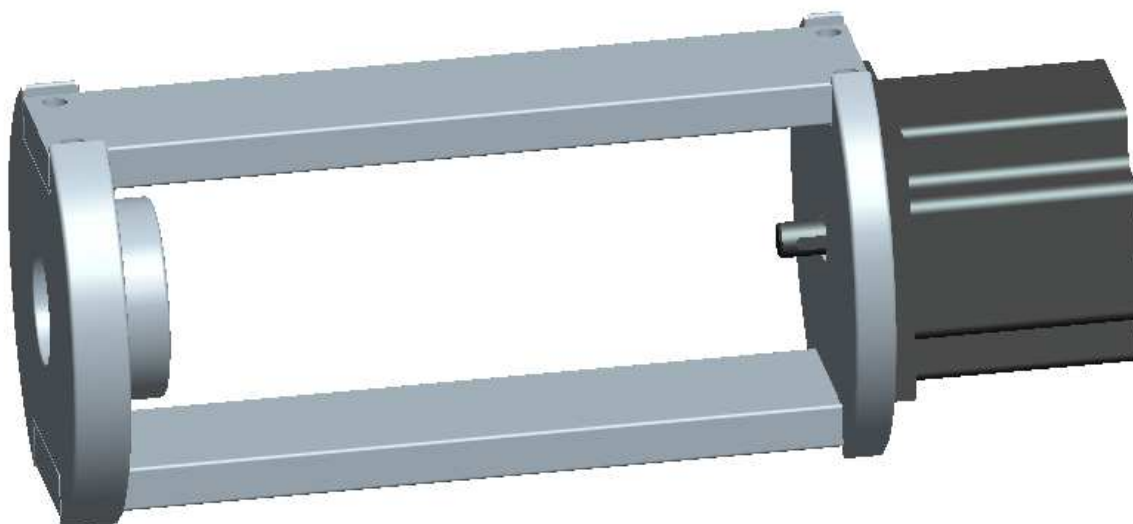
Bočnice jsou spojené s přírubami pomocí osmi šroubů. Styková plocha mezi bočnicemi a přírubami je na čele přírub. Šrouby jsou orientované podélně k bočnicím. Příruby mají otvor pro šrouby a bočnice mají závity. Příruba 1 je bez osazení.



Obr.23: Provedení 2

### 5.3 Provedení 3

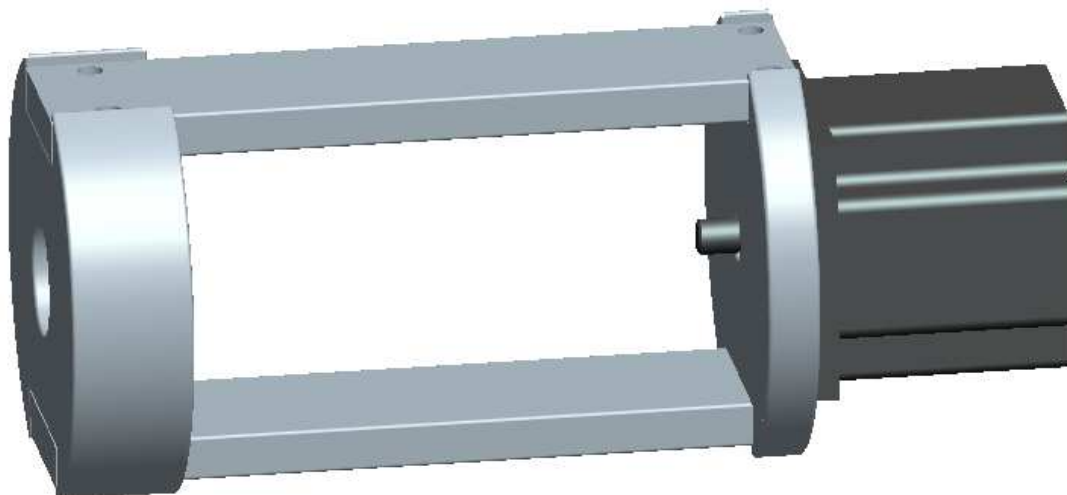
Bočnice jsou spojené s přírubami pomocí osmi šroubů. Bočnice jsou zapuštěné do přírub. Šrouby jsou orientované kolmo k bočnicím. Bočnice mají otvor pro šrouby a příruby mají závit. Příruha 1 má osazení na menší průměr.



Obr.24: Provedení 3

## 5.4 Provedení 4

Bočnice jsou spojené s přírubami pomocí osmi šroubů. Bočnice jsou zapuštěné do přírub. Šrouby jsou orientované kolmo k bočnicím. Bočnice mají otvor pro šrouby a příruby mají závit. Příruba 1 je bez osazení.



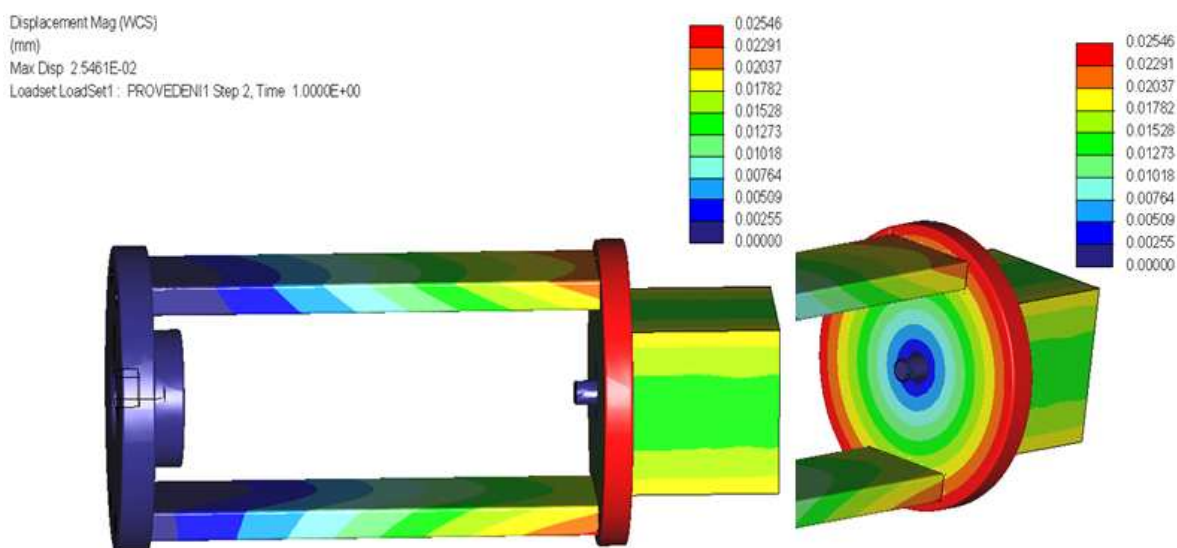
Obr.25: Provedení 4

## 6 Pevnostní analýza rámu přípravku pro měření krouticího momentu

U vítězné varianty byla pomocí softwaru Creo Simulate provedena pevnostní analýza rámu s uvažováním kontaktu stykových ploch jednotlivých dílů rámu. Na čelo příruby 2, kde bude uchycen motor, bylo simulováno působení momentového zatížení. Hodnota zatížení odpovídala maximálnímu momentu, který budou vybrané motory schopny vyvinout. Na čelo příruby 1, kde bude přípravek připojen k přístroji, byla zadána okrajová podmínka zamezující posuvům.

Celkem byla analyzována čtyři provedení vítězné varianty, jejichž analýzy zkoumaly vliv odlehčení dílčí části rámu a odlišný způsob vzájemného uchycení rámových dílů.

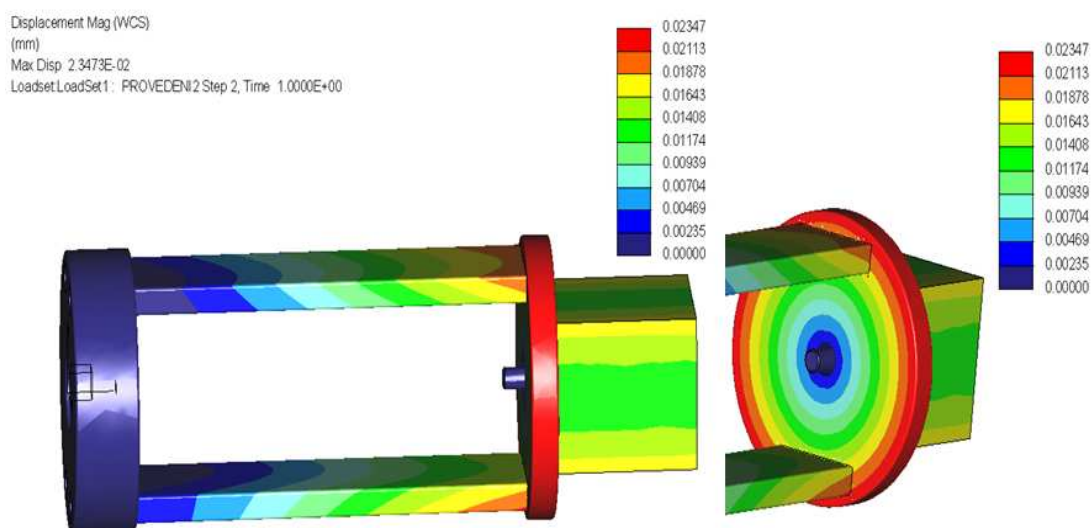
## 6.1 Vypočtené deformace pro provedení 1



Obr.26: Výsledek deformace pro provedení 1

Prostřednictvím analýzy byly vypočítané hodnoty deformace. Maximální deformace pro provedení 1 je 0,02546 mm (obr.26). Tmavě modrá barva znázorňuje nulové deformace, naopak červená barva znázorňuje největší deformace.

## 6.2 Vypočtené deformace pro provedení 2

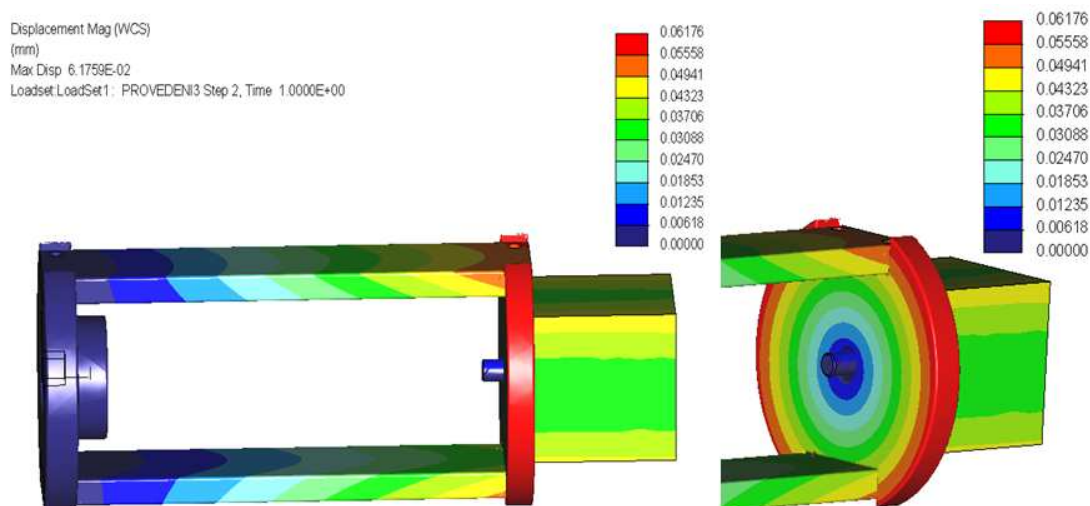


Obr.27: Výsledek deformace pro provedení 2



Prostřednictvím analýzy byly vypočítané hodnoty deformace. Maximální deformace pro provedení 2 je 0,02347 mm (obr.27). Tmavě modrá barva znázorňuje nulové deformace, naopak červená barva znázorňuje největší deformace.

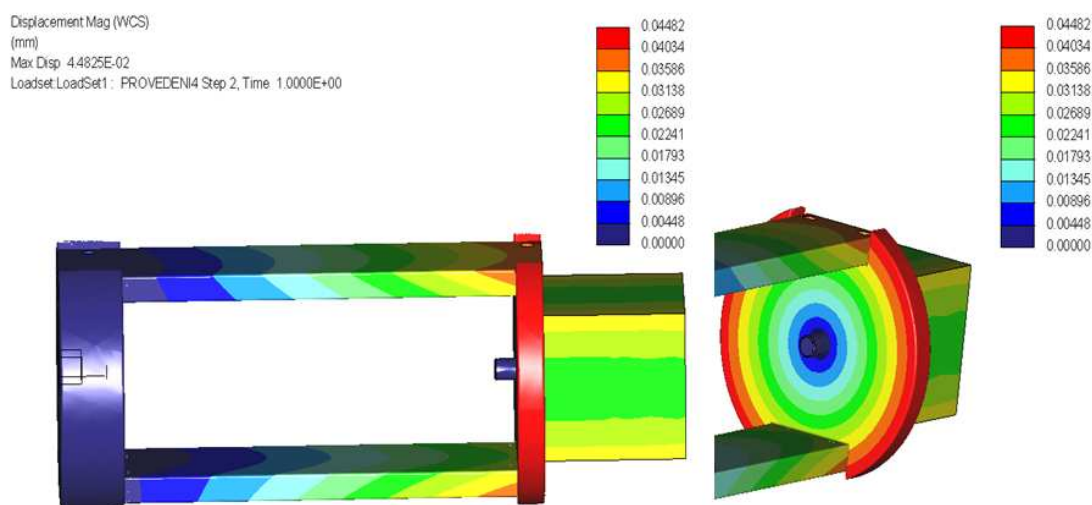
### 6.3 Vypočtené deformace pro provedení 3



Obr.28: Výsledek deformace pro provedení 3

Prostřednictvím analýzy byly vypočítané hodnoty deformace. Maximální deformace pro provedení 3 je 0,06176 mm (obr.28). Tmavě modrá barva znázorňuje nulové deformace, naopak červená barva znázorňuje největší deformace.

### 6.4 Vypočtené deformace pro provedení 4



Obr.29: Výsledek deformace pro provedení 4

Prostřednictvím analýzy byly vypočítané hodnoty deformace. Maximální deformace pro provedení 4 je 0,04482 mm (obr.29). Tmavě modrá barva znázorňuje nulové deformace, naopak červená barva znázorňuje největší deformace.

## 6.5 Výběr nejlepšího provedení

Tab.4: Výsledky deformací pro jednotlivá provedení

Provedení	Maximální deformace (mm)
1	0,02546
2	0,02347
3	0,06176
4	0,04482

Prostřednictvím výsledků z tabulky deformace (tabulka 4), zjistíme, že deformace pro provedení 2 je nejmenší (0,02347 mm) a deformace pro provedení 3 je největší (0,06176 mm). Aby docházelo při měření k co nejmenšímu zkreslení měřených hodnot, je potřeba zajistit minimální deformace přípravku. Podle výsledků deformace na tab.4, provedení 2 má nejmenší deformace, bude nejlepší a nejvhodnější provedení pro návrh přípravku pro měření krouticího momentu.

## 7 Závěr

V první části bakalářské práce byla provedena rešerše měření krouticího momentu. Zde byly zmíněny základní principy měření krouticího momentu a možné typy snímačů.

V další části se práce zabývá návrhem přípravku pro měření krouticího momentu. Přípravek musí splňovat několik důležitých požadavků. Návrh přípravku musí směřovat ke kompaktnímu řešení. Konstrukce přípravku musí být jednoduchá a musí umožnit snadnou a rychlou montáž a demontáž přípravku k měřenému přístroji. Podle zadání musí být možné připojit k přípravku tři vybrané typy motorů v určeném rozsahu velikostí a výkonu. Rám přípravku by měl být poměrně tuhý, nadměrná deformace rámu při jeho zatížení by totiž způsobovala zkreslení naměřených hodnot.

Návrh je řešen tak, že snímač krouticího momentu, který je spojen s rámem přípravku, je zařazen mezi motor a zátěž. Zátěž bude připojována na výstupní hřídel, který je součástí přípravku. Součástí návrhu byl také výběr vhodného snímače pro měření krouticího momentu a vhodných spojek, které budou spojovat snímač se vstupním a výstupním hřídelem. Zde bylo důležité vybrat správný měřicí rozsah snímače s ohledem na výkony vybraných motorů.

V této práci byly vypracovány tři varianty návrhů přípravku. Každá varianta byla podrobně popsána a byly zde rozebrány jejich klady i zápory. Vybrána byla ta varianta, která nejvíce odpovídala požadavkům zadání. U vítězné varianty byla pomocí softwaru Creo Simulate provedena pevnostní analýza rámu s uvažováním kontaktu stykových ploch jednotlivých dílů rámu. Celkem byla analyzována čtyři provedení vítězné varianty, jejichž analýzy zkoumaly vliv odlehčení dílčí části rámu a odlišný způsob vzájemného uchycení rámových dílů. Analýza ukázala, že hodnoty napětí působících na rám i hodnoty deformací rámu jsou velmi nízké. Napětí zdaleka nedosahují mezních hodnot. Maximální deformace rámu u jednotlivých výpočtových provedení se pohybují mezi hodnotami 0,02347 a 0,06176 mm.

Bylo vybráno provedení rámu s nejnižší hodnotou deformace. Pro toto řešení byla vypracována kompletní výkresová dokumentace přípravku pro měření kroutícího momentu.

## Seznam obrázků, tabulek

### Seznam obrázků

Obr.1: Tenzometrický snímač momentu [1]:	12
Obr.2: vektorový diagram indukčního snímače momentu [1]	13
Obr.3: Snímač momentu s indukční snímači posunutí [1]:	14
Obr.4: Kapacitní snímač momentu [1]	14
Obr.5: Fotoelektrický snímač momentu [1]	15
Obr.6: motor UNI FM 055-250U2B [2]	16
Obr.7: Krokový motor [3]	17
Obr.8: Motor AS69ADE – ASM69AE [4]	17
Obr. 9: Model snímače 8645 [5]	18
Obr. 10: Snímač 8645 [5]	18
Obr. 11: Schéma s pozicemi přípravku	20
Obr. 12: Model pružné spojky	22
Obr. 13: Model příruba 1	22
Obr. 14: Model příruba 2	23
Obr. 15: Model bočnice	23
Obr. 16: 1. varianta přípravku	24
Obr. 17: Model tyče	24
Obr. 18: 2. varianta přípravku	25
Obr. 19: Model válcová trubka	26
Obr. 20: 3. Varianta přípravku	27
Obr. 21: Konstrukce simulace přípravků	28
Obr. 22: Provedení 1	29
Obr. 23: Provedení 2	30
Obr. 24: Provedení 3	30
Obr. 25: Provedení 4	31

Obr.26: Výsledek deformace pro provedení 1	32
Obr.27: Výsledek deformace pro provedení 2	32
Obr.28: Výsledek deformace pro provedení 3	33
Obr.29: Výsledek deformace pro provedení 4	33

### **Seznam tabulek**

Tab.1: Tabulka informací o snímačích [5]	20
Tab.2: Popis prvků z obr.11	21
Tab.3: Popis prvků z obr.21	28
Tab.4: Výsledky deformací pro jednotlivá provedení	34

### **Seznam příloh**

příloha č. 1: Výkresová dokumentace

- (1) Přiruba\_1, KTS 01-01.3
- (2) Přiruba\_2, KTS 01-02.3
- (3) Bočnice, KTS 01-03.3
- (4) Lišta, KTS 01-04.4
- (5) Hřídél, KTS 01-05.4
- (6) Kroužek381, KTS 01-06.4
- (7) Víčko, KTS 01-07.4
- (8) Kroužek, KTS 01-08.04
- (9) Přípravek, KTS-001-A2

## Seznam literatury

- [1] L. Kuhn, J. Běták, K. Zehnula: Měření mechanických veličin v automatizaci.
- [2] Unimotor fm product data 055 to 190 frames ([www.controltechniques.com](http://www.controltechniques.com)) - motor UNI FM 055-250U2B
- [3] Stepper motors user's manual - Motor 80MPF3.250S000-01
- [4] Closed loop stepping motor and driver packages - Motor AS69ADE – ASM69AE
- [5] Turque sensor ([www.traceparts.com](http://www.traceparts.com)) - Model snímače 8645

## Internetové zdroje

- [6] <http://www.meatest.cz/produkty-levny-snimac-momentu-8645-46-detail-83> - snímače 8645
- [7] <http://www.microcon.cz> - pružné spojky